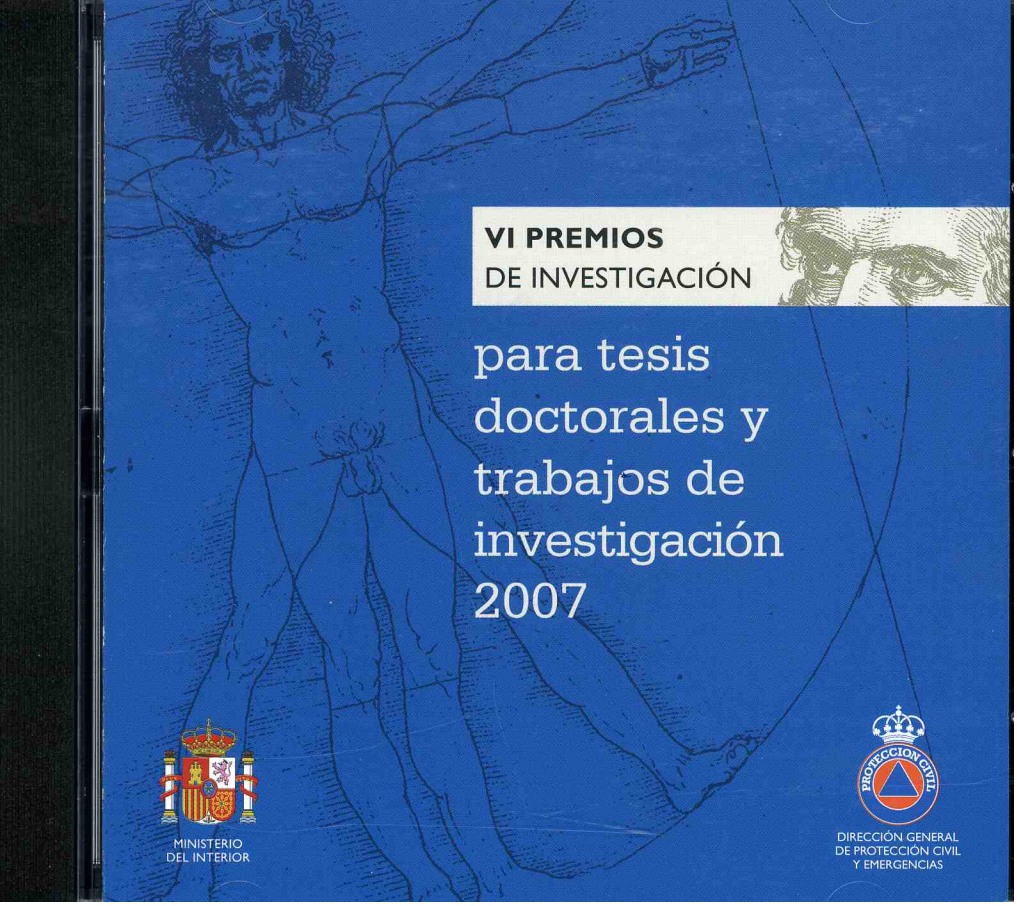

**VI PREMIOS**
DE INVESTIGACIÓN

# para tesis doctorales y trabajos de investigación 2007

MINISTERIO
DEL INTERIOR

PROTECCIÓN CIVIL

DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS

VI PREMIOS
DE INVESTIGACIÓN
para tesis doctorales y
trabajos de investigación
2007
Ministerio del Interior. Secretaría General Técnica. NIPO: 126-08-025-9 Depósito Legal: M-18616-2008
© Dirección General de Protección Civil y Emergencias
www.proteccioncivil.es

# ÍNDICE


| | |
|---|---|
| **RESUMEN** | **4** |
| **1. INTRODUCCIÓN** | **6** |
| **2. ÁMBITO** | **12** |
| **2.1. Geográfico-geológico** | **12** |
| **2.2. Destinatarios** | **13** |
| **3. OBJETIVOS** | **15** |
| **3.1. Del estudio** | **15** |
| **3.2. De la evaluación concreta por cantones y comunidades** | **16** |
| **4. METODOLOGÍA** | **16** |
| **4.1. Problemática de la evaluación de emergencia** | **16** |
| **4.2. Metodología básica** | **17** |
| **5. APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA EVALUACIÓN DE DESLIZAMIENTOS A ESTE ESTUDIO CONCRETO** | **20** |
| **5.1. Tipos de movimientos en masa** | **21** |
| **5.2. Criterios para la identificación e investigación de movimientos en masa** | **24** |
| **5.3. Tipos, características y aspectos relevantes de los encontrados en la zona de estudio.** | **25** |
| **5.4. Ficha y formatos de recogida de datos** | **29** |
| **6. EL ESTUDIO EN LA GESTIÓN LOCAL DEL RIESGO** | **30** |
| **6.1. Conceptos generales** | **30** |
| **6.2. Conceptos definidos a efectos de este estudio** | **30** |
| **7. RECOGIDA DE DATOS POR MUNICIPIOS, CANTONES Y COMUNIDADES (ADESCOS). EVALUACIÓN Y MEDIDAS PROPUESTAS.** | **33** |
| **7.1. Huizucar** | **33** |
| **7.1.1. Nazareth** | **33** |
| **7.1.2. La Lima** | **34** |
| **7.1.3. Amaquilco** | **37** |
| **7.1.4. La Ceibita** | **37** |
| **7.1.5. Ojos de Agua** | **38** |
| **7.1.6. San Juan Buena Vista** | **50** |

**7.1.7. Al Zapote 50**
**7.1.8. El Almendro 50**
**7.2. San José Villanueva 50**
**7.2.1. El Complejo I y II 50**
**7.2.2. El Amate 52**
**7.2.3. Santa Maria 53**
**7.2.4. Zona El Calvario. Casco Urbano 55**
**7.3. Zaragoza 56**
**7.3.1. El Progreso 56**
**7.3.2. Buena Vista- El Transito 59**
**7.3.3. Agua Escondida 2 60**
**7.3.4. Las Margaritas 61**

**8. POSIBLES ZONAS DE REUBICACIÓN. 63**

**9. ACTUACIONES INICIADAS O PENDIENTES DE INICIO 64**

**10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65**

**11. BIBLIOGRAFÍA 69**

**ANEXOS.**

**ANEXO I. Plano de situación.**
**ANEXO II. Mapa Geológico**
**ANEXO III. Fichas de deslizamientos singulares.**
**ANEXO IV. Estereográfica del desprendimiento tipo cuña de Santa María**
**ANEXO V. Inventario detallado de las viviendas evacuadas durante el STAN en Nazareth, El Chumpe, El Cajón y Los Madrid**

**ACTUALIZACIÓN AGOSTO 2007**

**ANEXO VI. Campaña de difusión de resultados a los destinatarios. PPT para Alcaldías junio 06**
**ANEXO VII. Campaña de sensibilización sobre Gestión de Riesgos en el marco de la Semana de la Ciencia 2006 en la UPO.**
**ANEXO VIII. Publicación en Europeans Geologist 2007 .Obras de mitigación realizadas**
**ANEXO IX. Documentación referente a las certificaciones: UPO**
**ANEXO X. Documentación referente a las certificaciones: Geólogos del Mundo**
**ANEXO XI. Documentación referente a la continuidad del proyecto a través del Plan Propio de Cooperación al Desarrollo de la UPO.**

# ***INDICE***

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS ..... 10

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TIPO MECÁNICO ..... 12

2.1. Las explosiones en la industria química ..... 12
2.2. La onda de presión ..... 15
2.3. Sustancias explosivas ..... 19
2.3.1. Definiciones ..... 19
2.3.2. Mecanismos de las explosiones de sustancias explosivas o pirotécnicas ..... 22
2.3.2.1. Características generales ..... 22
2.3.2.2. Deflagración y detonación ..... 22
2.4. Explosiones de nubes de gas o vapor ..... 25
2.4.1. Descripción de las nubes ..... 25
2.4.2. Deflagración de nubes ..... 25
2.4.3. Detonación de nubes ..... 28
2.4.4. Transición de la deflagración a la detonación ..... 30
2.4.5. La audición de la onda explosiva ..... 32
2.5. El estallido de recipientes ..... 33
2.5.1. Explosiones de origen físico ..... 34
2.5.2. Explosiones de origen químico ..... 36
2.6. La proyección de fragmentos ..... 38

CAPÍTULO 3. EFECTOS DE LAS EXPLOSIONES ..... 42

3.1. Efectos sobre los seres humanos ..... 42
3.1.1. Daño al tímpano ..... 42
3.1.2. Daño al pulmón ..... 44
3.1.3. Daño por desplazamiento e impacto del cuerpo ..... 48
3.1.4. Ecuaciones PROBIT seleccionadas para el análisis del daño a los seres humanos ..... 50
3.1.5. Daño producido por el impacto de fragmentos sobre los seres humanos ..... 52
3.2. Efectos sobre las estructuras ..... 53
3.2.1. Ecuaciones PROBIT seleccionadas para el análisis del daño a los edificios ..... 53
3.2.2. Daños producidos por el impacto de fragmentos sobre estructuras ..... 56
3.3. El impulso mecánico de los fragmentos ..... 59

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS SOBREPRESIÓN-IMPULSO-DISTANCIA PARA LAS EXPLOSIONES INDUSTRIALES ... 62

4.1. Características sobrepresión-impulso-distancia ... 62
4.1.1. Características obtenidas con el método del TNT equivalente. ... 64
4.1.2. Características obtenidas con el método de Multienergía. ... 66
4.1.3. Características obtenidas con el método de Baker ... 72
4.1.3.1. Recipientes esféricos ... 73
4.1.3.2. Recipientes cilíndricos ... 73
4.2. Dominio de las características de las explosiones ... 76
4.3. Evaluación comparativa de los daños provocados por las explosiones ... 91
4.4. Análisis de consecuencias. ... 93

CAPÍTULO 5. ZONAS DE PLANIFICACIÓN ... 98

5.1. Análisis de los valores umbral para Zonas de Planificación propuestos en la legislación española. ... 98
5.1.1. Análisis de los valores límite de la sobrepresión y del impulso de las explosiones. ... 98
5.1.2. Análisis de los valores límite de los fragmentos generados en la explosión de recipientes. ... 101
5.2. Criterios para establecer nuevos valores límite para Zonas de Planificación como consecuencia de explosiones accidentales en la industria ... 102
5.3. Valores límite propuestos para explosiones accidentales ... 103
5.4. Elección del umbral que determina la distancia de Planificación ... 106
5.5. Metodologías para determinar las Zonas de Planificación ... 111
5.5.1. Procedimiento para el método del TNT equivalente ... 111
5.5.2. Procedimiento para el método Multienergía ... 113
5.5.3. Procedimiento para el estallido de recipientes utilizando el método de Baker ... 117

CAPÍTULO 6. LEGISLACIÓN COMPARADA EN MATERIA DE RIESGO QUÍMICO EN LOS PRINCIPALES PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA ... 124

6.1. Zonas de Planificación para accidentes graves de tipo mecánico en los principales países de Europa ... 124
6.1.1. Francia ... 124
6.1.2. Reino Unido ... 125
6.1.3. Alemania ... 126
6.1.4. Italia ... 127

6.2. Comparación de los valores límite y Zonas de Planificación de los principales países de la UE con la propuesta de este trabajo..... 128
6.3. Conclusiones ..... 129

CAPÍTULO 7. PROGRAMA INFORMÁTICO..... 130

7.1. Manual de usuario ..... 132

CAPÍTULO 8. COMPARACIÓN DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS ..... 178

8.1. Descripción de los programas utilizados ..... 178
8.2. Explosiones de nubes de vapor ..... 179
8.2.1. Explosión de Flixborough (1974). ..... 179
8.2.2. Explosión de Wesseling (1985). ..... 182
8.3. Estallidos de recipientes..... 184
8.3.1. Recipiente con un gas permanente..... 184
8.3.2. Recipiente con un gas almacenado en equilibrio líquido-vapor ..... 186
8.4. Conclusiones ..... 188

CAPÍTULO 9. PLANTEAMIENTOS GENERALES Y CONCLUSIONES .. 190

PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN..... 194

ANEXO I. MODELOS DE CÁLCULO DE LA SOBREPRESIÓN, DEL IMPULSO Y DEL ALCANCE DE LOS FRAGMENTOS EN LAS EXPLOSIONES INDUSTRIALES ACCIDENTALES .... 196

I.1 Perspectiva general de los métodos más utilizados para el cálculo de las explosiones ..... 196
I.1.1. Detonación de sustancias explosivas..... 196
I.1.2. Explosión de nubes de vapor..... 197
I.1.2.1. Métodos basados en el TNT..... 197
I.1.2.3. Métodos fluidodinámicos..... 200
I.1.3. Estallido de recipientes..... 201
I.2. Método del TNT equivalente..... 202
I.2.1. Descripción de la metodología de cálculo..... 204
Sustancias..... 206
I.2.2. Aplicabilidad del método del TNT equivalente ..... 209
I.3. Método Multienergía ..... 210
I.3.1. Criterios para seleccionar el nivel de explosión apropiado..... 213
I.3.2. Procedimiento de aplicación del método Multienergía..... 219

I.4. Métodos específicos para estallido de recipientes ..... 225
I.4.1. El método de Baker ..... 226
I.4.1.1. Método de Baker refinado. Determinación de la sobrepresión escalada P' para el estallido de un recipiente a presión con un gas ideal y distancia escalada R'<2 ..... 234
I.4.2. Metodología para la determinación del alcance de los fragmentos ..... 243

ANEXO II. EJEMPLOS DE CÁLCULO ..... 262

II.1. Ejemplo para sustancias explosivas ..... 262
II.1.1. Aplicación del método TNT equivalente a una explosión de clorato sódico ..... 262
II.1.1.1. Escenario ..... 262
II.1.1.2. Aplicación del procedimiento ..... 262
II.1.2. Cálculo de las Zonas de Planificación ..... 263
II.2. Ejemplo para nubes de vapor ..... 265
II.2.1. Aplicación del método Multienergía con la metodología GAME de selección del nivel de explosión ..... 265
II.2.1.1. Descripción del escenario ..... 265
II.2.1.2. Datos básicos del propano ..... 265
II.2.1.3. Aplicación del procedimiento ..... 266
II.2.2. Cálculo de las Zonas de Planificación ..... 278
II.3. Ejemplo para recipientes a presión con gas ideal ..... 280
II.3.1. Descripción del escenario ..... 280
II.3.2. Aplicación del procedimiento ..... 280
II.3.3. Cálculo de la distancia alcanzada por los fragmentos ..... 285
II.3.4. Cálculo de las Zonas de Planificación ..... 287
II.4. Ejemplo para recipientes a presión con gas no ideal ..... 288
II.4.1. Descripción del escenario ..... 288
II.4.2. Aplicación del procedimiento ..... 288
II.4. 3. Cálculo de la distancia alcanzada por los fragmentos ..... 293
II.4.4. Cálculo de las Zonas de Planificación ..... 295

ANEXO III. APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO SELECCIONADOS AL ANÁLISIS DE ACCIDENTES REALES ..... 296

III.1. Análisis de accidentes sin considerar el alcance de los fragmentos 297
III.1.1. Accidente 1: explosión de una nube de vapor en Flixborough (Reino Unido) ..... 297
III.1.2. Accidente 2: explosión de una nube de vapor en Wesseling (Alemania) ..... 298

III.1.3. Accidente 3: detonación de materiales explosivos en Peterborough (Reino Unido)..... 300
III.1.4. Accidente 4: explosión de una nube de vapor en Saint-Herblain (Francia)..... 301
III.1.5. Accidente 5: estallido de un recipiente esférico en Beijing (China) ..... 302
III.1.6. Accidente 6: detonación de material pirotécnico en Enschede (Holanda)..... 303
III.1.7. Accidente 7: explosión de una nube de vapor en Taiwán .... 304
III.1.8. Accidente 8: detonación de nitrato amónico en Toulouse (Francia)..... 305
III.1.9. Accidente 9: estallido de un camión cisterna en Tivissa, Tarragona (España)..... 307
III.1.10. Accidente 10: detonación de materiales explosivos en Billy-Berclau (Francia)..... 308
III.2. Análisis de accidentes que dieron lugar a fragmentos ..... 310
III.2.1. Accidente 11: estallido de un recipiente cilíndrico en Doe Run (Perú)..... 310
III.2.2. Accidente 12: estallido de un recipiente esférico en Feyzin (Francia)..... 311
III.2.3. Accidente 13: estallido de un recipiente cilíndrico -Baker (1977)- ..... 312
III.2.4. Accidente 14: estallido de un recipiente cilíndrico -Baker (1977)- ..... 313
III.2.5. Accidente 15: estallido de un camión cisterna en Los Alfaques (España)..... 314
III.2.6. Accidente 16: estallido de un recipiente esférico en San Juan Ixhuatepec (México)..... 315
III.2.7. Accidente 17: estallido de un recipiente cilíndrico en Grangemouth (Reino Unido) ..... 316
III.2.8. Accidente 5: estallido de un recipiente esférico en Beijing (China) ..... 317
III.2.9. Accidente 9: estallido de un camión cisterna en Tivissa, Tarragona (España)..... 318
III.3. Metodologías de cálculo para los accidentes analizados en el apartado III.1..... 319
III.3.1. Detonación de explosivos ..... 320
III.3.2. Explosión de nubes de vapor ..... 321
III.3.3. Estallido de recipientes ..... 322
III.4. Metodologías de cálculo para los accidentes analizados en el apartado III.2..... 324

ANEXO IV. LA FUNCIÓN PROBIT APLICADA A LOS ACCIDENTES DE TIPO MECÁNICO ..... 334

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 340

NOMENCLATURA..... 350

ÍNDICE DE TABLAS..... 358

ÍNDICE DE FIGURAS ..... 364

# ÍNDICE GENERAL:

## LA MODELACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE PRESAS EN EL CONTEXTO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS


1. INTRODUCCIÓN
2. ANÁLISIS DE RIESGOS EN PRESAS Y EMBALSES
3. REVISIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS PARA PRESAS
4. EL ROL DE LOS MODELOS NUMÉRICOS EN LA ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES DE FALLO
5. CASO DE ESTUDIO
6. CONCLUSIONES Y NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

A. ALGORITMOS EN FLAC

B. RESULTADOS DEL MODELO ESTADÍSTICO

C. RUTINAS DEL CASO PRÁCTICO

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE RUTINAS

# CONTENIDO:

## METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS MULTIAGENTE EN ENTORNOS DE PLANIFICACIÓN


1. CAPÍTULO 1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA. OBJETIVOS DE LA TESIS
2. CAPÍTULO 2. EL ORIGEN ANTROPÓLOGICO DE LA PLANIFICACIÓN
3. CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS INTELIGENTES PARA PLANEAMIENTO
4. CAPÍTULO 4. HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE AGENTES
5. CAPÍTULO 5. PROTOTIPO 1: PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA. UN NUEVO ENFOQUE A LOS ESTUDIOSDE PROSPECTIVA
6. CAPÍTULO 6. PROTOTIPO 2: PLANIFICACIÓN TÁCTICA. UN ENFOQUE NUEVO A LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS
7. CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FUTUROS TRABAJOS

ANEXO A. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA. ESCENARIO GEOPOLÍTICO

ANEXO B. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICO. ESCENARIO FINANCIERO

ANEXO C. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA. ESCENARIO MILITAR

ANEXO D. PLANIFICACIÓN TÁCTICA. GESTIÓN DE PROYECTOS: CASO 1

ANEXO E. PLANIFICACIÓN TÁCTICA. GESTIÓN DE PROYECTOS: CASO 2

ANEXO F. PLANIFICACIÓN TÁCTICA. GESTIÓN DE PROYECTOS: CASO 100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS